

51

Int. Cl. 2:

G 02 B 3/08

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

DE 27 57 155 A 1

11

Offenlegungsschrift 27 57 155

21

Aktenzeichen: P 27 57 155.7

22

Anmeldetag: 19. 12. 77

23

Offenlegungstag: 22. 6. 78

24

Unionspriorität:

22 23 24

20. 12. 76 V.St.v.Amerika 752688

25

Bezeichnung:

Vorrichtung zum Konzentrieren von Sonnenstrahlung und zum Sammeln der konzentrierten Energie

26

Anmelder:

E-Systems, Inc., Dallas, Tex. (V.St.A.)

27

Vertreter:

Uexküll, J.-D. Frhr.v., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Stolberg-Wernigerode, U. Graf zu, Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Suchantke, J., Dipl.-Ing.; Pat.-Anwälte, 2000 Hamburg

28

Erfinder:

O'Neill, Mark Joseph, Dallas, Tex. (V.St.A.)

DE 27 57 155 A 1

UEXKÜLL & STOLBERG

BESELERST. 55E 4
2000 HAMBURG 52

PATENTANWÄLTE

2757155

DR. J.-D. FRHR. VON UEXKÜLL

DR. ULRICH GRAF STOLBERG

DIPL.-ING. JÜRGEN SUCHANTKE

E-Systems, Inc.

6250 LBJ Freeway

Dallas, Texas/V.St.A.

(Prio: 20. Dezember 1976

US 752 688 - 14607)

Hamburg, 15. Dezember 1977

Vorrichtung zum Konzentrieren von Sonnen-
strahlung und zum Sammeln der konzentrierten
Energie

A n s p r ü c h e

- ① Vorrichtung zum Konzentrieren von Strahlungsenergie,
insbesondere Sonnenstrahlung, gekennzeichnet durch eine
prismatische Linse mit einer Anzahl von Prismen zum
Ausrichten des einfallenden Lichtes auf einen gemeinsamen
Brennbereich, wobei jedes Prisma eine Vorderfläche, eine
hintere Fläche und eine diese verbindende untere Fläche

809825/1045

aufweist, wobei die Vorderfläche und die hintere Fläche des Prismas derart ausgerichtet sind, daß der Einfallswinkel des durch die Vorderfläche fallenden Lichtes gleich dem Austrittswinkel des durch die hintere Fläche fallenden Lichtes ist, durch einen im Abstand von der prismatischen Linse in deren Brennbereich angeordneten Energiesammler und durch eine Halterung für die prismatische Linse und den Energiesammler.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Energiesammler aus einem Rohr besteht, durch den ein Fluid hindurchführbar ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Rohr von einer konzentrisch zu ihm und im Abstand angeordneten transparenten Röhre umgeben ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der transparenten Röhre und dem Rohr ein Vakuum vorgesehen ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Energieempfänger aus einem Fotoelement besteht und daß Einrichtungen zur Kühlung des Fotoelementes vorgesehen sind.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Prismen der Linse entlang einer gekrümmten Fläche angeordnet sind und jedes der Prismen das durch benachbarte Prismen fallende Licht nicht beeinträchtigt.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die untere Fläche jedes Prismas sich nach außen in eine Stellung jenseits des Pfades der durch das Prisma hindurchtretenden Lichtstrahlen bis in eine Stellung erstreckt, die noch nicht im Pfad der aus dem benachbarten Prisma austretenden Lichtstrahlen liegt.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Prismen das Licht entlang einer Geraden auf den Energieempfänger fokussieren.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Prismen das Licht auf einen einzigen Punkt auf dem Energieempfänger fokussieren.
10. Vorrichtung zum Sammeln von Sonnenenergie mit einer im oberen Ende eine Öffnung bildenden Halterung für den Sammler, einem im unteren Bereich des Innenraums der Halterung angeordneten Energieempfänger, einer im Abstand

vom Energieempfänger angeordneten, gekrümmten prismatischen Linse, die am oberen Ende der Halterung befestigt ist und eine Anzahl von Prismen aufweist, um Licht auf einen gemeinsamen Brennbereich zu richten, wobei jedes Prisma eine Vorderfläche, die die Außenfläche der Linse bildet, eine hintere Fläche sowie eine untere Fläche hat, die die Innenfläche der Linse bildet, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorderfläche und die hintere Fläche jedes Prismas derart ausgerichtet ist, daß der Einfallswinkel des durch die Vorderfläche hindurchtretenden Lichtes gleich dem Austrittswinkel des durch die hintere Fläche hindurchtretenden Lichtes ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Prismen der Linse entlang einer gekrümmten Fläche angeordnet sind und jedes der Prismen das durch benachbarte Prismen fallende Licht nicht beeinträchtigt.
12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die untere Fläche jedes Prismas sich nach außen in eine Stellung jenseits des Pfades der durch das Prisma hindurchtretenden Lichtstrahlen bis in eine Stellung erstreckt, die noch nicht im Pfad der aus dem benachbarten Prisma austretenden Lichtstrahlen liegt.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung und die Linse geradlinig ausgebildet sind und die Linse das Licht auf einen sich parallel zu ihrer Längsachse erstreckenden Bereich fokussiert.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung rund und die Linse kugelförmig ausgebildet ist und daß die Linse das Licht auf einen gemeinsamen Punkt auf dem Energieempfänger fokussiert.
15. Vorrichtung mit einer prismatischen Fresnel-Linse, gekennzeichnet durch eine Anzahl von Prismen zum Ausrichten des Lichtes auf einen gemeinsamen Bereich, von denen jedes eine Vorderfläche, eine hintere Fläche und eine diese beiden Flächen verbindende untere Fläche aufweist, wobei die Vorderfläche und die hintere Fläche derart ausgerichtet sind, daß der Einfallswinkel des durch die Vorderfläche hindurchtretenden Lichtes gleich dem Austrittswinkel des durch die hintere Fläche hindurchtretenden Lichtes ist.
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Prismen der Linse entlang einer gekrümmten Fläche angeordnet sind und jedes der Prismen das durch benachbarte Prismen fallende Licht nicht beeinträchtigt.

809825/1045

17. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß die untere Fläche jedes Prismas sich nach außen in eine Stellung jenseits des Pfades der durch das Prisma hindurchtretenden Lichtstrahlen bis in eine Stellung erstreckt, die noch nicht im Pfad der aus dem benachbarten Prisma austretenden Lichtstrahlen liegt.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die untere Fläche des Prismas derart ausgerichtet ist, daß der Winkel zwischen der optischen Achse der Linse und der unteren Fläche des Prismas zumindest größer als die Hälfte des Drehwinkels des durch das Prisma fallenden Lichtes und kleiner als der gesamte Drehwinkel des hindurchtretenden Lichtes ist.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 18, gekennzeichnet durch eine Halterung für die prismatische Linse und durch einen von der Halterung positionierten, im Brennbereich der prismatischen Linse angeordneten Energiesammler.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Prismen das Licht in einen Bereich richten, der eine parallel zur Längsachse der Linse verlaufende Linie bildet.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Prismen das Licht auf einen aus einem Punkt bestehenden gemeinsamen Bereich fokussieren.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennweite kleiner ist als die Breite der Linse, so daß ihre F-Zahl kleiner ist als 1,0.
23. Gekrümmte, prismatische Fresnel-Linse, gekennzeichnet durch eine Anzahl von entlang einer gekrümmten Fläche angeordneten Prismen zum Leiten des einfallenden Lichtes auf einen gemeinsamen Brennpunkt, wobei jedes der Prismen eine Vorderfläche, eine hintere Fläche und eine diese verbindende untere Fläche aufweist und die Vorderfläche und die hintere Fläche jedes Prismas derart ausgerichtet sind, daß der Einfallswinkel des durch die Vorderfläche hindurchtretenden Lichtes gleich dem Austrittswinkel des durch die hintere Fläche hindurchtretenden Lichtes ist, und wobei die untere Fläche jedes Prismas sich nach außen über die Bahn der durch das Prisma hindurchtretenden Lichtstrahlen bis zu einer Stelle erstreckt, die sich noch nicht in der Bahn der aus dem benachbarten Prisma austretenden Lichtstrahlen befindet.

24. Fresnel-Linse nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die untere Fläche des Prismas derart ausgerichtet ist, daß der Winkel zwischen der optischen Achse der Linse und der unteren Fläche des Prismas größer als die Hälfte des Drehwinkels des durch das Prisma fallenden Lichtes und kleiner als der gesamte Drehwinkel des hindurchtretenden Lichtes ist.
25. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Linse geradlinig ausgebildet ist.
26. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Linse kugelförmig ist.
27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 18, gekennzeichnet durch eine Halterung und einen von dieser im Abstand von der Linse gehaltenen Energieempfänger zum Fokussieren des Lichtes von der Linse auf den Energieempfänger.
28. Verfahren zum Konzentrieren von Energie aus Lichtstrahlen, insbesondere Sonnenlicht, dadurch gekennzeichnet, daß man eine Anzahl von Prismen mit jeweils einer Vorder- und einer hinteren Fläche, die durch eine untere Fläche verbunden sind, verwendet, und Licht durch die Vorder- und

die hintere Fläche der Prismen in eine gemeinsame Brennebene gebrochen wird, so daß die Einfallswinkel der von den Prismen gebrochenen Strahlen bezüglich der Vorderfläche und der hinteren Fläche des Prismas gleich sind.

29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Prismen entlang einer gekrümmten Fläche angeordnet werden, so daß die Prismen nicht den Lichtdurchtritt durch benachbarte Prismen beeinträchtigen.
30. Verfahren nach Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß man die untere Fläche jedes Prismas über die Bahn der durch das Prisma hindurchtretenden Strahlen hinausführt.
31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung schwenkbar angeordnet ist, so daß ihre Längsachse mit einer Polarachse fluchtet, daß die Halterung der täglichen Bewegung der Sonne nachführbar ist, und daß der Energieempfänger bei Änderung des Deklinationswinkels der Sonne bezüglich der Linse bezogen auf die Linse bewegbar und auf den schärfsten Brennbereich der Linse ausrichtbar ist.

32. Vorrichtung zum Konzentrieren von Strahlungsenergie, gekennzeichnet durch einen Energieempfänger, durch eine prismatische Linse mit einer Anzahl nebeneinander angeordneter Prismen zur Bildung einer im wesentlichen gekrümmten Außenfläche, um einfallendes Licht auf den Energiesammler zu leiten, und durch eine Halterung zur Halterung der Linse bezüglich dem Energiesammler, so daß sich die prismatische Linse im Abstand von diesem befindet und um ihn gekrümmt ist, wobei die prismatische Linse derart geformt ist, daß der kürzeste Abstand des Energiesammlers von irgendeinem der Prismen sich entsprechend der relativen Lage des einen Prismas innerhalb der Linse ändert.
33. Vorrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die prismatische Linse bezüglich einer sich durch die Empfangsachse erstreckenden Mittelebene symmetrisch ist und daß der radiale Abstand eine Funktion des Winkels der Mittelebene mit einer Ebene ist, die sich durch die Empfangsachse und das jeweilige Prisma erstreckt.
34. Vorrichtung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß der radiale Abstand der Prismen abnimmt, wenn der Abstand vom Prisma zur Mittelebene zunimmt.

2757155

- 11 -

35. Vorrichtung nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Prismen jeweils eine Vorderfläche, eine hintere Fläche und eine diese verbindende untere Fläche aufweisen und so ausgebildet sind, daß ein mit einem vorgegebenen Einfallswinkel auf die Vorderfläche auftreffender Lichtstrahl sich durch das Prisma hindurchbewegt und unter im wesentlichen dem gleichen vorgegebenen Winkel bezüglich der hinteren Fläche austritt.

809825/1045

Die bisherigen Fresnel-Linsen gab es in zwei Bauarten, eine ebene Bauart und eine gekrümmte, konvexe Bauart. Eine dreidimensionale oder kugelförmige Fresnel-Linse ermöglicht das Fokussieren auf einen Punkt und eine zweidimensionale oder zylindrische Fresnel-Linse dient zum Fokussieren auf eine Linie.

Bisher wurden Fresnel-Linsen im wesentlichen so ausgebildet, daß sie in Zusammenhang mit einer punktförmigen Lichtquelle einzusetzen waren, um einen breiten, gesammelten Lichtstrahl zu erzeugen, etwa zur Verwendung als Bühnenstrahler oder Studiobeleuchtung.

Eine bekannte Fresnel-Linse (US-PS 1 504 970) hat auf einer Fläche konzentrische Zonen, die durch Gehrungen vereinigt sind, wobei die Gehrungen so geschnitten sind, daß sie parallel zum Pfad der durch die Linse hindurchfallenden Lichtstrahlen verlaufen. Die Verbindung der Gehrungen zwischen der unteren Fläche und der hinteren Fläche des Prismas soll eine exakte

809825/1045

Spitze bilden. Bei der Herstellung derartiger Linsen aus einem Material wie Glas oder Acrylkunststoff wird jedoch die Verbindung dieser beiden Flächen infolge der Oberflächenspannung des in die Form eingebrachten Materials abgerundet. Wenn die mit Gehrung versehene Fläche gemäß dieser vorbekannten Linse hergestellt und parallel zur Bahn der Lichtstrahlen ausgerichtet ist und wenn die Linse benutzt wird, um Sonnenlicht zu fokussieren, so bewirkt die abgerundete Spitze bei Durchtritt des Lichtes durch das Prisma eine Divergenz der Lichtstrahlen entlang demjenigen Bereich, der dem Brennpunkt abgewandt ist. Außerdem treten bei der Herstellung der Prismen und bei der Ausrichtung der Linse auf die Sonne Fehler auf. Diese Fehler bewirken, daß ein Teil des Lichtes von der unteren Fläche abgefangen und dadurch vom Brennpunkt weggebrochen wird. Diese Verluste infolge auftreffenden Lichtes auf die abgerundete Ecke und die untere Fläche können bei einer aus Glas hergestellten Linse in der Größenordnung von 20 % und bei einer extrudierten Kunststofflinse in der Größenordnung von 5 % bis 10 % liegen.

Es ist auch bereits bekannt, Fresnel-Linsen, beispielsweise aufblasbare, zylindrische Fresnel-Linsen, die Prismen aufweisen, als Sonnenkollektoren zu verwenden (US-PS 3 125 091).

809825/1045

Die Prismen bei dieser vorbekannten Fresnel-Linse waren auf einem Kreisbogen angeordnet, was eine Beeinträchtigung der optischen Wirksamkeit dieser Linse zur Folge hatte. Das durch die Kanten dieser kreisförmigen Linse hindurchtretende Licht wird so stark abgelenkt, daß es vollständig verlorengeht. Darüber hinaus können mit einem derartigen flexiblen Sonnenkollektor keine hohen Temperaturen erreicht werden, und er ist nicht für 20 Jahre oder mehr widerstandsfähig gegen Witterungseinflüsse.

Bisher hatten die meisten bekannten Fresnel-Linsen größere Brennweiten mit F-Zahlen von 1,0 oder mehr. Dies erfordert eine verhältnismäßig große Materialmenge, verhältnismäßig viel Isolierung sowie ein großes Raumvolumen für den Aufbau der Linse und des Sonnenkollektors, damit eine entsprechende Wärmemenge gesammelt werden kann. Darüber hinaus ist ein wesentlicher Teil des erforderlichen Materials und damit der Kosten des Kollektors eine Folge des Aufbaus des Gehäuses und der Halterungen, die erheblich verkleinert werden könnten, wenn man die Brennweite der Linse verringern würde, um so eine kompaktere Kollektoreinheit zu schaffen. Leider haben jedoch übliche Fresnel-Linsen große Durchlaßverluste, wenn die Brennweite verringert wird, und es wurden daher in Sonnenkollektoren Fresnel-Linsen mit großer Brennweite, d.h. einer F-Zahl (Brennweite geteilt durch die Linsenweite) von 1,0 und mehr benutzt.

809825/1045

Es ist klar, daß Sonnenkollektoren sehr wirksam sein müssen, um eine möglichst vollständige Umwandlung der eingestrahlten Sonnenenergie in eine auswertbare Energieform zu ermöglichen. Verluste von 10 % oder 20 % der durch die Linse hindurchtretenden Energie sind häufig kritisch und entscheiden, ob das System nur zum Heizen oder auch zur Umwandlung von Licht in Energie für Klimaanlage, die Erzeugung von Elektrizität o.ä. benutzt werden kann. Bisher wurden wegen ihres einfachen Aufbaus ebene Plattenkollektoren benutzt. Diese benötigen jedoch große Flächen und große Wärmeabsorber und haben eine sehr niedrige Sammeleffektivität. Wärmeabsorber bestehen häufig aus rostfreiem Stahl oder Kupfer, um die Korrosion zu verringern, und sie sind daher sehr teuer in der Herstellung.

Die zur Zeit verwendeten Fresnel-Linsen haben im wesentlichen infolge Reflexionen an den Prismenflächen hohe Verluste in der Lichtdurchlässigkeit, wodurch sich eine erhebliche Verringerung bei der Wirksamkeit für Kollektoren ergibt.

Es ist daher erwünscht, eine Fresnel-Linse, insbesondere für einen Sonnenkollektor zu schaffen, die hohe Durchlässigkeit und eine Brennweite hat, die so kurz wie möglich ist. Dadurch ließe sich eine Konzentration der einfallenden Sonnenstrahlen mit größter Wirksamkeit bei minimalen Kosten erreichen.

809825/1045

Zur Lösung dieser Aufgabe dient eine gekrümmte, primatische Fresnel-Linse für einen Sonnenkollektor, wobei der Kollektor ein Gehäuse aus isolierendem Material aufweist, in dessen unterem Bereich ein Energieempfänger angeordnet ist, während die Linse über dem oberen Teil des Gehäuses befestigt ist, um Licht direkt auf den Energieempfänger zu richten, der beispielsweise ein Wärmeabsorber oder eine andere Einrichtung, etwa ein Fotoelement sein kann.

Die Linse hat eine im wesentlichen glatte, konvexe Außenfläche, und an ihrer Innenseite ist eine Anzahl von Prismen nebeneinander angeordnet, um das parallel einfallende Sonnenlicht auf einen gemeinsamen Bereich zu leiten, wo sich der Energieempfänger befindet. Die Linse ist so ausgebildet, daß der radiale Abstand von der Empfangsachse zu irgendeinem der Prismen entsprechend der relativen Lage dieses Prismas innerhalb der Linse unterschiedlich ist.

Jedes einzelne Prisma hat eine Vorder- und eine hintere Fläche, die durch eine untere Fläche verbunden sind, und die Vorderfläche und die hintere Fläche jedes Prismas sind derart ausgerichtet, daß der Einfallswinkel des auf die Vorderfläche des Prismas fallenden Lichtes gleich dem Winkel des austretenden Lichtes an der hinteren Fläche des Prismas ist. Diese gleichen Winkel führen zu einer Minimalisierung der Reflexions-

809825/1045

verluste der Lichtbestandteile und bewirken somit einen höchsten Lichtdurchtritt durch jedes Prisma und damit durch die Linse. Jedes Prisma ist darüber hinaus so angeordnet, daß es kein Licht abblockt, das durch benachbarte Prismen hindurchtritt, und die untere Fläche jedes Prismas ist über den Pfad des sich durch das Prisma bewegenden Lichtes hinaus bis zu einer Stelle verlängert, die kurz vor dem Pfad des aus dem benachbarten Prisma austretenden Lichtes liegt, um auf diese Weise Ausrichtfehler und abgerundete Spitzen zwischen den unteren und den hinteren Flächen der Prismen zu kompensieren.

Die Linse hat eine höhere Lichtdurchlässigkeit als irgendeine andere Linse mit der gleichen F-Zahl und gleicher Materialzusammensetzung. Sie kann mit einer F-Zahl (Brennweite dividiert durch Breite) aufgebaut werden, die wesentlich kleiner ist als 1,0, so daß dadurch die Gesamttiefe der Einheit verringert und die zum Aufbau des Kollektors erforderliche Materialmenge vermindert wird. Die kürzere Brennweite der Linse verringert die Wirkung von Ausrichtfehlern. Die Linse kann bei Verwendung in einem Kollektor mit Brennnlinie Temperaturen bis zu 260°C und bei einem Kollektor mit Brennpunkt Temperaturen bis zu 538°C erzeugen.

809825/1045

Mittels der Erfindung wird somit eine prismatische Linse für Sonnenkollektoren geschaffen, die minimale Reflexionsverluste und damit einen maximalen Lichtdurchtritt hat, und die eine hohe Wirksamkeit und eine kürzere Brennweite als übliche Linsen, insbesondere eine F-Zahl von weniger als 1,0 aufweist, so daß bei minimalen Abmessungen des Sonnenkollektors eine maximale Energiemenge gesammelt werden kann und sich der Sonnenkollektor infolge seines leichten Gewichtes ohne spezielle Halterungen auf Dächern befestigen läßt.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Ausführungsbeispiele zeigenden Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt in perspektivischer Darstellung und mit zur Verdeutlichung weggebrochenen Teilen Einzelheiten des Aufbaus eines Kollektors.

Fig. 2 zeigt schematisch einen typischen Sonnenkonzentrator.

Fig. 3 zeigt in einem vergrößerten Querschnitt den Energieempfänger.

Fig. 4 zeigt in einem vergrößerten Querschnitt eine erste abgewandelte Form des Energieempfängers gemäß Fig. 3.

Fig. 5 zeigt in einem vergrößerten Querschnitt eine zweite abgewandelte Form des Energieempfängers.

Fig. 6 zeigt in einem vergrößerten Querschnitt eine dritte abgewandelte Form des Energieempfängers.

Fig. 7 zeigt in einem vergrößerten Querschnitt eine vierte abgewandelte Form des Energieempfängers.

Fig. 8 zeigt in einer Teildarstellung die vom Kollektor gelöste Linse.

Fig. 9 zeigt in einer vergrößerten Endansicht das linke äußere Prisma der Linse gemäß Fig. 8.

Fig. 10 zeigt in einem Diagramm eine Endansicht der durch Polarkoordinaten definierten Linse.

Fig. 11 zeigt eine Ansicht eines abgewandelten Kollektors, wobei zur Verdeutlichung Teile weggebrochen sind.

Fig. 12 zeigt einen Schnitt entlang der Linie 12-12 aus Fig. 11.

Fig. 13 zeigt in einem Diagramm die Gesamtlichtübertragung durch die Linse für verschiedene F-Zahlen der neuen Linse.

Fig. 14 zeigt in einem Diagramm die Sonnenlichtkonzentration über dem Lichtstreuwinkel für die neue Linse mit einer F-Zahl von 0,5 für drei verschiedene Sonnenkollektoren.

Der in den Figuren 1 und 2 dargestellte Kollektor 20 dient zum Konzentrieren von Lichtenergie durch Verwendung einer prismatischen, sich geradlinig erstreckenden Linse 22, die das einfallende Sonnenlicht auf eine gemeinsame Brennebene 76 leitet, die im wesentlichen in der Brennebene der geradlinigen Linse 22 liegt. Es ist bei Energieempfangseinrichtungen, die sich in der gemeinsamen Brennebene der geradlinigen Linse 22 befinden, allgemein üblich, Lichtenergie in Wärme für unterschiedliche Zwecke umzuwandeln. Bei einem Sonnenkollektor ist der Energieempfänger im allgemeinen ein Absorber, wie er etwa in den Figuren 1 und 3 dargestellt ist, der eine längliche Röhre 24 mit diametral an ihr befestigten Rippen 26 aufweist, die mit einer dunklen Beschichtung versehen sein können, etwa Chromschwarz, um das Sonnenlicht wirkungsvoller zu absorbieren. Das Rohr 24 hat einen Strömungsweg 28, durch den das Wärmeaustauschmedium zum Absorbieren von Wärme hindurchströmt.

Das Rohr 24 ruht auf Stützen 30, die es im Abstand vom inneren Gehäuse halten. Das Gehäuse hat ein im wesentlichen abgeflachtes, V-förmiges Innengehäuse I mit Seitenwänden 36 und 38, die

809825/1045

Über einen inneren Boden 40 miteinander verbunden sind. Diese Seitenwände und der Boden befinden sich im Abstand von den Wänden 42 und 44 sowie dem Boden 46 des Außengehäuses. Eine Wärmeisolierschicht 48 ist zwischen dem Innengehäuse I und dem Außengehäuse O angeordnet, um Wärmeübertragungen vom Wärmeempfänger weg zu verhindern. Die Isolierung 48 kann Fiberglas oder irgendein anderes geeignetes Material sein. Über der oberen Seite des Rohres 24 befindet sich eine durchsichtige, konkave Abdeckung 50, die in länglichen Vertiefungen 52 in den unteren Endbereichen der Seitenwände 36 und 38 gehalten wird und die Wärmeverluste aus dem Rohr 24 verringert.

Am oberen Ende der Seitenwände 42, 44 des Außengehäuses ist ein im Querschnitt C-förmiger Kanal 54 ausgebildet und zur Verbindung der oberen Wandenden mit den Seitenwänden 36 und 38 des Innengehäuses verbunden. Der Kanal 54 erstreckt sich in Längsrichtung der Seitenwände des Kollektors 20, und in ihm befindet sich eine elastische Dichtung 56 mit einem Schlitz 58 zur Aufnahme der Kanten der Linse 22. Die Dichtung 56 schützt das Innere des Kollektors 20 gegen Regen, Staub, Korrosion und andere Witterungseinflüsse. Über jedes Ende der Seitenwände 36 und 38 des Innengehäuses und der Seitenwände 44 und 42 des Außengehäuses erstrecken sich Endwände 60 zum Abdichten und Isolieren des Kollektors 20. Das Rohr 24, ver-

809825/1045

läuft vom unteren Ende der Endwände 60 nach außen und kann aus einem flexiblen Schlauch bestehen, um eine Drehung des Kollektors 20 mittels des Zahnrades 98 und damit eine Nachführung bezüglich dem Sonnenstand zu ermöglichen.

Wie am deutlichsten in Fig. 2 zu erkennen ist, ist ein Verbindungselement 62 des Endrohres 24₂ an der Röhre 64 befestigt, die mit dem Auslaß der Pumpe 66 in Verbindung steht. Die Röhre 68 liegt zwischen dem Einlaß der Pumpe 66 und dem Auslaß des Wärmeaustauschers 70. Eine Röhre 72 ist mit dem Einlaß des Wärmeaustauschers 70 und dem flexiblen Rohr 24₁ verbunden. Zum Erwärmen des Wärmeaustauschers 70 wird ein Wärmeaustauschmedium durch die Röhren 64 und 68 und durch das Rohr 24 des Sammlers 20 gepumpt. Der Wärmeaustauscher 70 hat eine Einlaßröhre 74 und eine Auslaßröhre 76, durch die ein anderes Wärmeaustauschmedium strömt, um eine Verbindung zu anderen Geräten herzustellen, in denen die gesammelte Wärmeenergie ausgenutzt wird, etwa für Klimaanlage o.a. Man erkennt, daß verschiedene Anordnungen zur Ausnutzung des Wärmeübertragungsmediums möglich sind, die allgemein bekannt sind, und daß das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 lediglich ein einzelnes Beispiel für eine derartige Anordnung darstellt. Ein typisches Wärmeaustauschmedium ist Wasser. Die Drehachse des Kollektors ist üblicherweise parallel zur Erdachse ausgerichtet, um das Nachführen zu vereinfachen.

Wie am deutlichsten in den Figuren 1, 8 und 9 zu erkennen ist, weist die prismatische, sich geradlinig erstreckende Linse 22 eine gewölbte Außenfläche auf, die von einer Vorderfläche 74 aus einer Anzahl von Prismen 78 gebildet ist. Die Prismen 78 sind, wie Fig. 8 zeigt, von einem äußeren Prisma 78_1 zu einem inneren Prisma 78_{11} verteilt angeordnet. Die Prismen fokussieren das Licht auf eine gemeinsame Brennebene 76, die dem Schnitt der x- und der y-Achse entspricht. Die Innenfläche der Linse 22 wird von den übrigen Oberflächen der Prismen 78_1 bis 78_{11} gebildet, von denen jede die Vorderfläche 74 entsprechend der Außenfläche der Linse, eine hintere Fläche 80 und eine Bodenfläche 82 aufweist, so daß ein geradliniges Prismenelement 78 gebildet wird, das einen im wesentlichen stumpfen, dreieckförmigen Querschnitt aufweist, wie dies am besten in Fig. 9 zu erkennen ist. In dieser Figur ist auch gezeigt, daß sich die strichpunktiert dargestellte Basislinie 84 des Prismas parallel zur Vorderfläche 74 der Linse 22 erstreckt und gleiche Länge wie diese hat. Man erkennt, daß die gekrümmte Außenfläche der Linse aus kurzen, geradlinigen Abschnitten der Vorderfläche 74 bestehen kann, so daß sich das Erscheinungsbild einer gewölbten Fläche ergibt. Die Länge der Flächen 74 wird ideal minimalisiert, so daß sie so kurz wie nur praktisch möglich und in der Praxis tatsächlich gekrümmt sein können.

809825/1045

Die Vorderfläche 74 ist bezüglich der einfallenden, parallelen Sonnenstrahlen 86 und 88, die schematisch durch gestrichelte Linien in den Figuren 8 und 9 angedeutet sind, unter einem Winkel B_1 geneigt. Jedes Prisma 78 ist so ausgerichtet, daß der Einfallswinkel B_1 des einfallenden Lichtes bezüglich der Vorderfläche 74 gleich dem Austrittswinkel B_2 ist, der von dem austretenden Sonnenlicht bezüglich der hinteren Fläche 80 des Prismas 78 gebildet wird, so daß jedes Prisma 78 entlang der Innenfläche der Linse 22 so ausgerichtet ist, daß das Licht unter einem bestimmten Drehwinkel A_F gebrochen wird, der ein Winkel zwischen der y =konstant-Achse 23 der Linse 22 und dem Lichtstrahl 88 ist, wodurch das durch jedes Prisma 78_1-78_{11} hindurchtretende Licht auf eine gemeinsame Brennebene 76 gerichtet wird, die vorzugsweise mit der oberen Fläche des Energieempfängers zusammenfällt. Es wurde festgestellt, daß dann, wenn die Winkel B_1 und B_2 des Sonnenlichtes bezüglich der Vorderfläche 74 und der hinteren Fläche 80 beim Durchtritt durch die Prismen 78 jeweils gleich sind, eine maximale Lichtübertragung und damit eine maximale Wirksamkeit der Linse 22 und des Kollektors 20 erreicht wird.

Das zweite Prisma 78_2 hat einen Drehwinkel A'_F , der geringfügig kleiner als der Winkel A_F ist. Sein Einfallswinkel B'_1 mit der Vorderfläche 74 und sein Austrittswinkel B'_2 mit der hinteren Fläche 80 sind gleich, doch haben diese Winkel eine

andere Größe als die Einfallswinkel B_1 und B_2 . Man erkennt, daß jeder Satz von Winkeln sich für jedes Prisma 78_1 - 78_{11} ändert, um eine maximale Lichtübertragung durch die Prismen zu erhalten.

In der Mitte der Linse 22, wo die Prismen klein werden, wird vorzugsweise eine geradlinig ausgebildete, doppelt-konvexe Linse 90 vorgesehen, die senkrecht zur Achse 23 der Linse 22 gerichtet ist. Benachbart zum äußeren Prisma 78_1 ist eine im wesentlichen rechteckförmige Kante 92 vorgesehen, die in den Schlitz 58 der Dichtung 56 eingepaßt ist.

Die Linse 22 ist symmetrisch bezüglich der Achse 23 und somit stellt die zweite Hälfte der Linse 22 ein Spiegelbild der ersten, in Figur 8 gezeigten Hälfte der Linse dar.

Wie am deutlichsten in Fig. 9 zu erkennen ist, ist die Spitze 94 jedes Prismas 78 der Linse 22 leicht abgerundet, da die Linse aus transparentem Material, etwa Glas oder Acryl geformt wird, wobei die Oberflächenspannung des Materials beim Aushärten eine Abrundung der durch die Verbindung der Flächen 80 und 82 gebildeten Spitze 94 bewirkt. Daher ist die Spitze 94 nicht vollständig spitz, wie dies gestrichelt nur für Entwurfszwecke gezeigt wird.

Wie später erklärt werden wird, ermöglicht die Form dieser Linse eine maximale Energieübertragung T durch die Linse,

während die Brennlängen der Linse 22 so entworfen werden können, daß sie eine F-Zahl im Bereich des geringfügig Negativen bis zum positiv Unendlichen hat. Die Linse 22 ist so aufgebaut, daß eine F-Zahl von 1,0 oder weniger erzeugt werden kann, während ein Übertragungswert des Lichtes von mehr als 90 % erhalten wird. Die F-Zahl ist hierbei definiert durch die Brennweite dividiert durch die Linsenbreite, beispielsweise $x_1/2y_1$ für die Linse gemäß Fig. 8, bei der die Brennweite der Abstand zwischen dem Brennpunkt und einer imaginären Sehne ist, die sich von einer Kante der Linse zur anderen und senkrecht durch die Achse 23 erstreckt.

Es ist klar, daß in der Praxis die Prismen 78 wesentlich kleiner und in einer größeren Anzahl vorhanden sind, als in Fig. 8 dargestellt, um Material einzusparen und eine Linse mit geringem Gewicht zu erhalten.

Um nachzuweisen, daß die maximale Übertragung dann eintritt, wenn der Winkel B_1 gleich dem Winkel B_2 der Vorderfläche 74 bzw. der hinteren Fläche 80 ist, sei auf folgendes hingewiesen:

Betrachtet sei die Brechung für ein einzelnes Prisma, bei dem

B_1 = der Einfallswinkel an der ersten Prismenfläche,

B_2 = der Austrittswinkel an der zweiten Prismenfläche,

809825/1045

A_F = der Gesamt-Drehwinkel des Lichtstrahles und
 n = der Brechungsindex des Prismenmaterials

ist.

Aus dem Snelliusschen Brechungsgesetz folgt dann:

$$(1) \quad A_F = B_1 - \sin^{-1}(\sin B_1/n) + B_2 - \sin^{-1}(\sin B_2/n).$$

Bei einer dünnen Fresnel-Linse aus nicht absorbierendem Material, etwa Acrylkunststoff, sind die Absorptionsverluste klein im Verhältnis zu den Reflexionsverlusten. Außerdem läßt sich für nichtpolarisiertes Licht, wie etwa Sonnenstrahlung, aus der elektromagnetischen Grundtheorie zeigen, daß die Einflächen-Reflexionsfaktoren sich aus den folgenden Gleichungen ergeben:

$$(2) \quad P_1 = \frac{\sin^2 [B_1 - \sin^{-1}(\sin B_1/n)]}{2 \sin^2 [B_1 + \sin^{-1}(\sin B_1/n)]} + \frac{\tan^2 [B_1 - \sin^{-1}(\sin B_1/n)]}{2 \tan^2 [B_1 + \sin^{-1}(\sin B_1/n)]},$$

$$(3) \quad P_2 = \frac{\sin^2 [B_2 - \sin^{-1}(\sin B_2/n)]}{2 \sin^2 [B_2 + \sin^{-1}(\sin B_2/n)]} + \frac{\tan^2 [B_2 - \sin^{-1}(\sin B_2/n)]}{2 \tan^2 [B_2 + \sin^{-1}(\sin B_2/n)]},$$

mit P_1 = Reflexionsfaktor der ersten Prismenfläche und
 P_2 = Reflexionsfaktor der zweiten Prismenfläche.

Die Prismen-Gesamtübertragung T ist unter der Annahme, daß keine Lichtabsorption im Prisma stattfindet, gegeben durch:

$$(4) \quad T = (1-P_1) (1-P_2).$$

Wenn T auf einen Maximalwert eingestellt ist, sollte sein Differential verschwinden, d.h.

$$(5) \quad dT = (1-P_2) \frac{d(1-P_1)}{dB_1} dB_1 + (1-P_1) \frac{d(1-P_2)}{dB_2} dB_2 = 0.$$

Für einen festen, gewünschten Wert von A_p kann die Gleichung (1) differenziert werden, um die folgende Gleichung zu erhalten:

$$(6) \quad dB_1 \left[1 - \frac{d[\sin^{-1}(\sin B_1/n)]}{dB_1} \right] = -dB_2 \left[1 - \frac{d[\sin^{-1}(\sin B_2/n)]}{dB_2} \right].$$

Wenn dann $B_1 = B_2$ ist, ergibt sich aus der Gleichung (6):

$$(7) \quad dB_1 = -dB_2.$$

Für $B_1 = B_2$ folgt aus den Gleichungen (2) und (3) $P_1 = P_2$ und

$$\frac{d(1-P_1)}{dB_1} = \frac{d(1-P_2)}{dB_2}. \text{ Daher ergibt sich aus Gleichung (5):}$$

$$(8) \quad dT = 0.$$

Wenn somit $B_1 = B_2$ ist, existiert ein Extremwert der Übertragung T. Um sicherzustellen, daß dieser Extremwert ein Maximum ist, wird die zweite Ableitung gebildet, und es werden die entsprechenden Werte für $B_1 = B_2$, $dB_1 = -dB_2$, $P_1 = P_2$, $dP_1/dB_1 = dP_2/dB_2$, $d^2P_1/dB_1^2 = d^2P_2/dB_2^2$ eingesetzt, um die folgende Gleichung zu erhalten:

$$(9) \quad d^2T = -2(dP_1/dB_1)^2 (dB_1)^2 - 2(1-P_1) (d^2P_1/dB_1^2) (dB_1)^2.$$

Somit ist T nur dann ein Maximalwert, wenn die folgende Ungleichung gilt:

$$(10) \quad (dP_1/dB_1)^2 + (1-P_1) (d^2P_1/dB_1^2) > 0.$$

Da die durch die Gleichung (2) definierte Kurve für jeden Wert von B_1 konkav nach oben gekrümmt ist, ist die Ungleichung (10) erfüllt, und somit sollte jedes Prisma 78 derart geformt sein, daß der Einfallswinkel B_1 der Sonnenstrahlen an der Vorderfläche 74 gleich dem Austrittswinkel B_2 der Sonnenstrahlen an der hinteren Fläche 80 ist, um die nach den optischen

Gesetzen höchstmögliche Übertragung T zu erreichen. Dies ist das Grundprinzip für die Ausbildung der einzelnen Prismen in der neuen Linse.

In Fig. 9 ist der Sonnenstrahl für ein bestimmtes Prisma schematisch durch gestrichelte Linien 86 und 88 angedeutet, die die Breite eines einzelnen Strahles bezeichnen, der durch ein einzelnes Prisma 78 hindurchtritt. Wie am deutlichsten in Fig. 9 zu erkennen ist, erstreckt sich die untere Fläche 82 des Prismas 78 vorzugsweise über die durch die Linie 88 bezeichnete Bahn des Lichtstrahls im Prisma 78 hinaus in kurzen Abstand vom durch die Linie 88 bezeichneten Weg des Lichtes im Prisma 78 und in kurzem Abstand von der durch die Linie 86' bezeichneten Linie des aus dem benachbarten Prisma 78₂ austretenden Lichtes. Man erkennt, daß kein Licht durch den von den Punkten (x_4, y_4) , (x_5, y_5) und (x_6, y_6) gegebenen dreieckförmigen Bereich hindurchtritt (Figur 9) und daß daher kein Licht durch die untere Fläche 82 oder durch die zwischen den Flächen 80 und 82 gebildete Spitze 94 hindurchgelangt.

Der Punkt (x_5, y_5) , der durch die Gleichungen als Schnitt der hinteren Fläche 80 und der unteren Fläche 82 des äußeren Prismas 78 festgelegt ist, ist lediglich ein Konstruktionspunkt, da der Schnitt in der Praxis eine abgerundete Spitze 94 bildet.

809825/1045

Die Spitze 94 ist abgerundet, da das geformte Material, das üblicherweise zur Herstellung der Linse 22 benutzt wird, etwa Glas oder Acryl, eine Oberflächenspannung hat, die eine Abrundung der Spitze beim Formvorgang, etwa beim Spritzen oder Gießen zur Folge hat. Es ist erforderlich, diese Erscheinung dadurch zu kompensieren, daß die untere Fläche 82 des Prismas 78 verlängert wird, um den Schnitt von Lichtstrahlen mit der abgerundeten Spitze 94 zu verhindern, da sich dadurch unnötige Verluste bei der Lichtübertragung ergeben würden. Außerdem unterstützt die Verlängerung der unteren Fläche 82 die Verringerung der Fehlerwirkung, die beim Ausrichten der Linse und bei ihrer Herstellung entsteht. Die Winkel gemäß Fig. 9 sind zur Verdeutlichung vergrößert, und die Zeichnung ist nicht maßstabsgerecht. Somit würden sich die Strahlen 86 und 86' in der Brennebene schneiden, obwohl dies in Fig. 9 nicht deutlich gezeigt ist.

Ein Verfahren zur Festlegung der Ausrichtung der Vorderfläche 74, der hinteren Fläche 80 und der unteren Fläche 82 der Prismen 78, die die Linse 22 bilden, ist in Fig. 10 dargestellt. Bei diesem Verfahren werden Gleichungen in Polarkoordinaten verwendet, um die Flächen 74, 80 und 82 im oberen Quadranten des üblichen x-y-Koordinatensystems festzulegen. Der Brennpunkt 76' der Linse 22 befindet sich im Nullpunkt des x-y-Koordinatensystems.

809825/1045

Die Vorderfläche 74 ist wie folgt definiert:

Definiert man $d = (n^2 + 8)^{1/2}/2 = n/2$, dann definiert
 $r/r_0 = [(d+2)/(d+2\cos \frac{u}{2})]^{4/(d^2+2)} [(1/d)/(1d\cos \frac{u}{2})]^{2d^2/(d^2+2)}$
 die Kurven der Vorderfläche 74, wobei r_0 eine willkürliche
 Integrationskonstante ist.

Die hintere Fläche 80 des Prismas 78 ist wie folgt definiert:

$r/r_1 = [(n-1)/(n\cos \frac{u}{2} - 1)]^2$ definiert die Kurven der hinteren
 Fläche, wobei r_1 eine willkürliche Integrationskonstante ist.

Die untere Fläche 82 des Prismas 78 ist vorzugsweise $3/4$
 des Drehwinkels Λ_F , was wie folgt ausgedrückt werden kann:

$r/r_2 = \left[\frac{1}{\sin(\frac{u}{4})} \right]^4$, wobei r_2 eine willkürliche Inte-
 grationskonstante ist.

Die obigen drei Formeln, die die Kurven bezeichnen, die die
 Vorderfläche 74, die hintere Fläche 80 und die untere Fläche
 82 definieren, wurden durch Aufstellung und nachfolgende
 Lösung der maßgebenden Differentialgleichungen entsprechend
 dem Snelliusschen Brechungsgesetz unter der Voraussetzung
 abgeleitet, daß der Einfallswinkel B_1 der Vorderfläche 74 und
 der Austrittswinkel B_2 der hinteren Fläche 80 jedes Prismas
 78 gleich ist und daß die untere Fläche 82 des Prismas richtig
 verlängert ist.

Jede dieser Differentialgleichungen wurde abgeleitet und analytisch gelöst und ist durch die Integrallösungskurven gemäß Fig. 10 dargestellt. Man erkennt ohne weiteres, daß in Abhängigkeit von den gewünschten Integrationskonstanten eine unendliche Anzahl von Kurven entwickelt werden kann. Somit können durch die vorstehenden Formen Prismen jeder gewünschten Größe und Lage definiert werden. Beispielsweise stellt das Prisma 478 ein derartiges Prisma dar. Es ist jedoch erwünscht, daß die die Linse bildenden Prismen einander nicht blockieren oder Schatten werfen, und daher sollten die Prismen entlang einer gemeinsamen äußeren Oberflächenkurve 74 gewählt werden. Bei dieser Ausbildung bewirkt jedes Prisma eine maximale Übertragung, ohne daß andere Prismen blockiert oder auf sie Schatten geworfen werden. Dadurch hat eine derartige Linse einen höheren Übertragungsfaktor als irgendeine andere Linse der gleichen Größe, Brennweite und Materialzusammensetzung.

Jedes Prisma 78'₁ bis 78'₁₉ stellt den Schnitt der durch die vorstehenden Gleichungen definierten Kurven dar.

Man erkennt, daß durch Änderung der Abstände zwischen den Kurven, die durch die willkürlichen Integrationskonstanten r_0 , r_1 und r_2 gegeben sind, die Größe und die Form jedes Prismas 78' geändert werden kann.

Außerdem wird es im allgemeinen erwünscht sein, nur einen Teil der durch diese Kurven erzeugten Prismen zu benutzen, so daß sich eine stumpfe Form der Linse ergibt.

Ferner kann, wie in Fig. 10 angedeutet, ein durch eine strichpunktierte Linie 86 schematisch bezeichneter Lichtstrahl entweder durch das Prisma $78'_5$ oder 478 fallen. Der Drehwinkel A_{F_5} jedes abgelenkten Strahls ist von dem Drehwinkel A'_F verschieden, wenn dieser entweder durch das Prisma 478 oder das Prisma $78'_5$ fällt. Es ist jedoch klar, daß entweder das Prisma 478 oder das Prisma $78'_5$ den Lichtstrahl um einen gewünschten Drehwinkel A_F beugen und daß jeder Einfallswinkel B_1 der Vorderfläche 74 oder $74'$ gleich dem Austrittswinkel B_2 der hinteren Fläche 80 des Prismas 478 und des Prismas $78'_5$ ist.

Unter Verwendung der Standard-Koordinatentransformation von $x = r \cos u$ und $y = r \sin u$ ist im x-y-Koordinatensystem die Kurve gezeichnet, in der die x-Achse parallel zum einfallenden Licht verläuft. Wie dargestellt, gibt es eine unendliche Anzahl von Kurven, die für unterschiedliche Integrationskonstanten r_0 , r_1 und r_2 gemäß den Formeln Flächen 74, 80 und 82 festlegen. Jeder der Lichtstrahlen wird entsprechend dem Schnitt mit den x-y-Achsen zum Brennbereich 76' gebeugt. Diese Ausrichtung jedes Prismas 78 führt zu gleichen Einfalls- bzw. Austrittswinkeln an der Vorderfläche 74 und der hinteren Fläche

80, wodurch eine maximale Übertragung durch die Linse 22 sichergestellt wird.

Die untere Fläche 82 des Prismas 78 ist am günstigsten unter einem Winkel bezüglich der y-Achse von $3/4A_F$ angeordnet. Obwohl Figur 10 nur den oberen Quadranten darstellt, ist die untere Hälfte der Linse 22 ein Spiegelbild der oberen Hälfte, wenn man davon ausgeht, daß die x-Achse zwischen der oberen und der unteren Hälfte verläuft. Es ist daher nicht erforderlich, die weiteren zur Festlegung der Linse erforderlichen Kurven zu errechnen.

In einem anderen Verfahren zum Festlegen der Linse 22 wird die Folge von Formeln gemäß Tabelle 6 benutzt, wobei jedes der Prismen 78 in rechtwinkligen Koordinaten festgelegt wird. Die Folge von Formeln gemäß Tabelle 7 bildet ein Verfahren zum Aufbau einer gesamten Linse 22, wie in Fig. 8 gezeigt. Jede Formel definiert eine Reihe von Punkten entlang dem Querschnitt, und diese werden zur Festlegung der Linse 22 miteinander verbunden.

Beide Verfahren zur Festlegung oder Definierung der Linse sind sowohl für Linsen mit Brennpunkt als auch für Linsen mit Brennnlinie geeignet. Für Linsen mit Brennnlinie ist die vorstehend verwendete Variable y eine übliche, rechtwinklige

809825/1045

Koordinate. Bei Linsen mit Brennpunkt ist die Variable y eine radiale Koordinate einer achsensymmetrischen Linse. Der Querschnitt der Linse mit Brennpunkt und der Linse mit Brennpunkt ist gleich, und die Berechnungsfolge ist für beide identisch.

Tabelle 6

1. (x_1, y_1) ist der zur Festlegung der gewünschten Prismenstelle gewählte Punkt.
2. β wird gleich der gewünschten Neigungshöhe des Prismas festgesetzt.
3. t wird gleich der gewünschten Neigungs-Basisdicke des Prismas festgesetzt.
4. a ergibt sich als Wurzel aus der impliziten Gleichung:

$$\sin \left[\tan^{-1} \left(\frac{y_1 - \frac{t}{2} \cos[a - \sin^{-1}(n \sin \frac{a}{2})]}{x_1 - \frac{t}{2} \sin[a - \sin^{-1}(n \sin \frac{a}{2})]} \right) + a - \sin^{-1}(n \sin \frac{a}{2}) \right] = n \sin \frac{a}{2}$$
5. v ergibt sich aus $v = \sin^{-1} [n \sin \frac{a}{2}] - \frac{a}{2}$
6. A_p ergibt sich aus $A_p = \tan^{-1} \left(\frac{y_1 - \frac{t}{2} \cos(\frac{a}{2} - v)}{x_1 - \frac{t}{2} \sin(\frac{a}{2} - v)} \right)$
7. B folgt aus $B = \frac{a}{2} + v$
8. n ist der Brechungsindex des Prismenmaterials.

Diese Koordinaten, Längen und Winkel definieren die Prismenform, -lage und -ausrichtung vollständig.

809825/1045

Es sei darauf hingewiesen, daß kein Licht durch denjenigen Bereich des Prismas fällt, der ein Dreieck mit den Eckpunkten (x_4, y_4) , (x_5, y_5) und (x_6, y_6) bildet. Somit entstehen keine optischen Durchtrittsverluste infolge auf die untere Fläche des Prismas auffallenden Lichtes oder infolge Lichtes, das auf den Prismenpunkt (x_5, y_5) auftrifft.

Tabelle 7

1. Man wähle eine gewünschte Brennweite f für die Linse.
2. Man wähle eine gewünschte Linsenbreite (für eine Linse mit Brennnlinie) oder einen gewünschten Durchmesser (für eine Linse mit Brennpunkt) w .
3. Für das äußere Prisma wird $x_1 = f$ und $y_1 = w/2$ gewählt.
4. Man berechnet die Form des äußeren Prismas für diesen Punkt (x_1, y_1) gemäß dem Verfahren aus Tabelle 6.
5. Nach Fertigstellung des Entwurfs des äußeren Prismas wird das nächste Prisma unter Verwendung des Punktes (x_4, y_4) anstelle des Punktes (x_1, y_1) in der Berechnungsfolge gemäß Tabelle 6 bestimmt.
6. Nach Errechnung des zweiten Prismas 78_2 ist der Punkt (x_{10}, y_{10}) (Fig. 8) bekannt. Man errechnet das dritte Prisma unter Verwendung des Punktes (x_{10}, y_{10}) anstelle des Punktes (x_1, y_1) nach der Berechnungsfolge gemäß Tabelle 6.

7. Die Berechnung der einzelnen Prismen der Linse wird aufeinanderfolgend fortgesetzt, bis die optische Achse erreicht ist. Gegebenenfalls kann anstelle der letzten wenigen Prismen nahe der optischen Achse eine einfache bi-konvexe Linse benutzt werden, wie dies in Fig. 8 dargestellt ist.
8. Die Linsenform unterhalb der optischen Achse ist ein genaues Spiegelbild der Linsenform oberhalb der optischen Achse.
9. Gemäß Fig. 9 wird die konvexe Außenfläche der Linse aus geradlinigen Abschnitten, beispielsweise der Linie vom Punkt (x_2, y_2) zum Punkt (x_3, y_3) zusammengesetzt. Das Verhalten der Linse wird jedoch nicht negativ beeinträchtigt, sondern sogar verbessert, wenn eine stetige Kurve durch diese geradlinigen Abschnitte gelegt wird, um eine stetige, durchgehend konvexe Linsenaußenfläche zu erhalten, wie sie in Fig. 8 dargestellt ist. In der Praxis sind die Prismen so klein, daß es nahezu unmöglich ist, zwischen den stückweise zusammengesetzten, geradlinigen Abschnitten und einer durchgehend konvexen Kurve zu unterscheiden.
10. Diese Definition des Linsenaufbaus gilt für jede vernünftige Brennweite und Linsenbreite und ist in gleicher Weise für geradlinige und kreisförmige Fresnel-Linsen geeignet.

Unter Verwendung der Tabellen 6 und 7 wird durch Durchlauf der Rechenfolge gemäß Tabelle 6 und unter Verwendung trigonometrischer Funktionen zur Bestimmung jedes Schnittpunktes der Linse jeder Punkt berechnet. Wie Figuren 8 und 9 zeigen, wird jeder Punkt der Linse 22 bis zur x-Achse festgelegt. Wie vorstehend erläutert, kann eine doppelt-konvexe Linse 90 in der Linsenmitte 22 senkrecht zur x-Achse ausgebildet werden.

Als Linsenmaterial eignet sich vorzugsweise Methylmethacrylat, das allgemein als Acrylkunststoff bekannt ist und einen Brechungsindex von etwa 1,491 hat. Dieses Material wird beispielsweise von der Firma E. I. DuPoint de Nemours, Wilmington, Delaware, unter der Bezeichnung "Lucite" und von der Firma Rohm and Hass Company, Philadelphia, Pennsylvania, unter der Bezeichnung "Plexiglas" sowie auch von anderen Firmen vertrieben. Andere zur Herstellung der Linse geeignete Materialien sind beispielsweise Polystyrol mit einem Brechungsindex von 1,590, Polycarbonat mit einem Brechungsindex von 1,586 oder das unter der Bezeichnung NAS vertriebene Methacrylatstyrolcopolymere. Diese Materialien können unter Verwendung üblicher Formungsverfahren aus einer Form extrudiert werden, um geradlinige Linsen zu bilden, oder das Material kann nach üblichen Herstellungsverfahren kalandriert und zu den gewünschten gekrümmten Flächen gebogen werden. Die erwünschten Breiten

der Linse 22 hängen von verschiedenen Faktoren ab, doch können sie irgendwo im Bereich von etwa 30 cm bis 120 cm und von F-Zahlen irgendwo zwischen 0,2 und 1,0 liegen.

Um einen Sammler 20 in Form einer Fresnel-Linse während der Tageslichtstunden wirksam arbeiten zu lassen, ist es im allgemeinen erforderlich, der Sonnenbewegung über den Himmel zu folgen, um dadurch die Linse immer in der Hauptstrahlungsrichtung der Sonne ausgerichtet zu halten. Es ist bekannt, daß die scheinbare Sonnenbewegung durch eine tägliche Bewegung von Ost nach West während des Tages mit einer Geschwindigkeit von etwa 15° /Stunde charakterisiert ist. Dieser Bewegung kann ein Sammler folgen, der bezüglich einer Polarachse befestigt ist, die eine Achse parallel zur Drehachse der Erde ist. Eine derartige Achse ist durch eine Nord-Süd-Linie festgelegt, die zum Äquator um den örtlichen Breitenwinkel geneigt ist. Der neue Sammler kann so angeordnet werden, daß er sich um eine Polarachse dreht, und ein automatisches Führungssystem hält die Ausrichtung der Linse bezüglich der Sonne jederzeit aufrecht. Zusätzlich zu dieser täglichen Bewegung ändert die Sonne während des Jahres ihren Deklinationswinkel, d.h. den Winkel, den die Sonnenstrahlen mit einer Polarachse bilden. Diese Änderung ist, wie bekannt, verhältnismäßig klein und umfaßt eine Schwankung von etwa plus oder minus $23,5^{\circ}$ um null. Somit ist beim Äquinoktium der Deklinations-

809825/1045

winkel null, und die Nachführung hält die Linse immer genau ausgerichtet. Bei Sommersonnenwende beträgt der Deklinationswinkel $+23,5^{\circ}$ und die Nachführung hält die Linse immer $23,5^{\circ}$ unterhalb der Sonne, während die Linse bei Wintersonnenwende immer $23,5^{\circ}$ oberhalb der Sonne gehalten wird, da dann der Deklinationswinkel $-23,5^{\circ}$ beträgt. Zwischen den Tag- und Nachtgleichen und den Sonnenwenden ändert sich der Deklinationswinkel zwischen 0 und + oder $-23,5^{\circ}$, was bekannt ist. Es gibt drei Nachführverfahren, die in Abhängigkeit von den Anwendungserfordernissen als am besten für den neuen Sammler geeignet erscheint. Die einfachste besteht darin, nur um eine Polarachse nachzuführen, ohne daß eine Korrektur im Hinblick auf die Änderungen des Deklinationswinkels stattfindet. Dazu muß der Empfänger gegenüber seiner normalen kleinen Abmessung wesentlich größer ausgebildet werden, um die Änderung der Brennnlinie bzw. des Brennpunktes infolge Änderung des Deklinationswinkels zu kompensieren. In einem derartigen Nachführsystem wird der Empfänger geringfügig oberhalb seiner normalen Lage angeordnet, d.h. näher zur Linse, so daß er eine minimale Größe für die Änderung des Deklinationswinkels über das gesamte Jahr hat.

Ein zweites Nachführverfahren besteht in einem zweidimensionalen Nachführen, bei dem eine Korrektur bezüglich der im Jahresverlauf auftretenden Änderungen des Deklinationswinkels

durchgeführt wird. Dies kann durch Verwendung eines zweiten automatischen Antriebssystems erreicht werden, mit dem die Neigung des Sammlers nach Süden geändert wird, damit er immer direkt auf die Sonne ausgerichtet ist. Ein derartiges System ist komplizierter und teurer als die einfache Nachführung um eine Polarachse.

Ein drittes Nachführverfahren, das dann bevorzugt wird, wenn hohe Konzentrationspiegel benötigt werden, besteht in einer Kombination eines einfachen Nachführens um die Polarachse in Kombination mit einer Einstellung der Lage des Empfängers im Sammler von Hand oder automatisch. Bei diesem System befindet sich der Empfänger bei der Tag- und Nachtgleiche im wirklichen Brennpunkt bzw. der wirklichen Brennnlinie der Linse. Bei Sonnenwende, wenn der Deklinationswinkel + oder $-23,5^\circ$ beträgt, wird die scheinbare Brennweite der Linse gegenüber ihrem normalen Wert von F auf einen Wert von $F \cos 23,5^\circ$ oder $0,917 F$ verringert. Wenn der Empfänger auf $0,917 F$ bezüglich der Linse eingestellt wird, ergibt sich über den gesamten Tag eine nahezu ideale Fokussierung. Somit wird bei dem dritten und bevorzugten Nachführsystem die Empfängerlage im Kollektor geändert, um ihn auf $F \cos D$ zu halten, wobei D der Deklinationswinkel ist. Da sich der Deklinationswinkel langsam ändert, reichen tägliche oder sogar wöchentliche

Korrekturen der Empfängerstellung aus, um eine sehr genaue Fokussierung zu erhalten. Daher können Einrichtungen zur manuellen oder automatischen Einstellung der Empfängerlage benutzt werden, die keine großen zusätzlichen Kosten verursachen. Dieses Nachführverfahren liefert Konzentrationen äquivalent zu den Konzentrationen eines zweidimensionalen Nachführverfahrens.

Es sind viele Arten von Nachführvorrichtungen bekannt. Wie schematisch in Fig. 2 gezeigt, kann eine derartige Nachführvorrichtung einen Motor 94 enthalten, der über eine Kette 86 mit einem mit dem Kollektor 20 verbundenen Kettenrad 98 gekoppelt ist. Der Sammler 20 ist durch nicht gezeigte, an den Wellen 97 befestigte Lager gehalten, und er enthält eine Lichtabtasteinrichtung 100 mit zwei Siliciumzellen, die auf einer Basisplatte unter einem Winkel von etwa 60° zueinander zur Sonne hin gerichtet sind. Wenn eine der Zellen mehr Licht als die andere empfängt, kommt eine Steuerschaltung 102 in einen unabgeglichenen Zustand und aktiviert den Motor 94, so daß dieser den Sammler 20 dreht, bis sich wieder ein abgeglichener Zustand einstellt.

Fig. 13 zeigt in einem Diagramm den Prozentsatz des Durchtrittes für verschiedene F-Zahlen von Linsen 22 aus einem Material wie beispielsweise Acrylkunststoff. Es sei darauf

hingewiesen, daß eine Linse mit einer F-Zahl von 0,3 einen Durchlaß von 90 % hat, der mit zunehmender F-Zahl bis etwa 92,4 % zunimmt. Keine andere prismatische Linse aus dem gleichen Material hat eine gleiche oder höhere Durchlaßkurve. Somit ergibt die neue Linse das bestmögliche Verhalten bei kleiner Brennweite, und aus ihr können daher kompakte, wirtschaftliche und wirkungsvolle Sonnenkollektoren hergestellt werden.

Figur 14 zeigt in einem Diagramm die Lichtkonzentration über dem Streuwinkel verschiedener Linsen gemäß der neuen Form. Die Kurve 104 bezeichnet eine geradlinige Linse mit polarer Nachführung in einer Richtung, die Kurve 106 eine geradlinige Linse mit Nachführung in zwei Richtungen und die Kurve 108 eine Linse 122 mit Brennpunkt, die in zwei Richtungen nachgeführt wird. Die Konzentration ist hierbei als das Verhältnis von Linsenöffnungsbereich dividiert durch Empfangsbereich definiert. Alle Ausführungsbeispiele der Linsen gemäß Fig. 14 haben F-Zahlen von 0,5, was einen bevorzugten Wert zur Erzielung hoher Konzentrationspegel darstellt.

Es ist bekannt, daß der in Fig. 14 dargestellte Streuwinkel den Sonnenscheibenwinkeldurchmesser, der, wie bekannt, $0,53^\circ$ beträgt, Linsenherstellungsfehler, die chromatische Aberration und Nachführfehler enthält. Für Acrylkunststoff und eine

809825/1045

F-Zahl von $1/2$ ist ein Streuwinkel von 2° wahrscheinlich. Somit sollten für die drei in dem Diagramm gemäß Fig. 14 skizzierten Ausführungsbeispiele von Linsen Konzentrationen von etwa 800 Sonnen, 30 Sonnen und 13 Sonnen erreichbar sein. Wenn alle Fehler 0 wären und zur Herstellung der Linse ein nichtstreuendes Material verwendet worden wäre, betrügen die theoretischen Konzentrationen für einen Streuwinkel von etwa $0,53^\circ$ etwa 11.600 Sonnen, 108 Sonnen und 18 Sonnen.

Wie vorstehend bereits beschrieben, können Nachführvorrichtungen benutzt werden, um Änderungen in der Sonnenstellung zu kompensieren, die sich während des Tages und über den Jahresverlauf ändert.

Mit dem linearen Sammler 20 gemäß Fig. 1, der nur in einer Richtung von Ost nach West nachgeführt wird, lassen sich Temperaturen von über 260°C erreichen, was mehr als ausreichend zur Lieferung von Wärme für Heizungszwecke, für Klimaanlagen u.ä. ist.

Zur Erzielung von hohen Temperaturen um etwa 538°C ist es im allgemeinen erforderlich, eine Linse mit Brennpunkt zu verwenden. Wie Fig. 11 und 12 zeigen, wird eine Linse 122 mit Brennpunkt verwendet, die sich in einem kreisförmigen, konisch

ausgebildeten Gehäuse mit im Querschnitt kreisförmiger Seitenwand 142 und kreisförmigem Boden 146 befindet. Die Linse 122 hat ein in den Schlitz 158 einer Kautschukdichtung 156 eingesetztes Ende 192. Die ringförmige Dichtung 156 ist in einem Ringkanal 154 angeordnet, der am oberen Ende zwischen Außengehäuse 142 und Innengehäuse 136 ausgebildet ist. Das Innengehäuse 136 weist einen benachbart zum Brennbereich 176 der Linse 122 liegenden inneren Boden 140 auf, und in dem Raum zwischen dem Innengehäuse 136 und dem Außengehäuse 142 ist eine Isolierung 148 angeordnet. Die Linse 122 ist entsprechend der geradlinigen Linse 22 aufgebaut, jedoch sind ringförmige Prismen 178_1 bis 178_{11} vorhanden, und in der Mitte senkrecht zur Achse 123 der Linse 122 befindet sich eine doppelt-konvexe Linse 190. Jedes Prisma 178 hat eine Vorderfläche 174 und eine hintere Fläche 180, die mittels einer unteren Fläche 182 verbunden sind. Die Linse 122 konzentriert durch einen Einfallswinkel $B_1(90^\circ - C_1)$ mit der Vorderfläche 174 und einen Austrittswinkel $B_2(90^\circ - C_2)$ mit der hinteren Fläche, die gleich sind, und sie konzentriert das Licht in einem gemeinsamen Bereich 176, in dem sich ein Wärmeabsorber befindet, der aus einer Stahlrohrspule 124 besteht, durch die ein Wärmeübertragungsmedium gefördert wird, um die Wärme zu absorbieren. Derartige Absorber sind allgemein als Hohlraumheizkessel bekannt, in denen Licht bis zu einer Intensität von etwa 1000 Sonnen konzentriert und dadurch Temperaturen über 538°C

809825/1045

erzeugt werden. Der Hohlraumheizkessel ist im allgemeinen gegenüber dem Innengehäuse 136 durch eine Keramikscheibe 130 getrennt.

Höhere Temperaturen, die sich mittels der Linse 122 erreichen lassen, werden benutzt, um Sonnenenergiemaschinen für die Erzeugung von Elektrizität anzutreiben. Hierzu eingesetzte Linsen 122 werden im allgemeinen in zwei Richtungen nachgeführt, um mit einer F-Zahl von 0,5 durchschnittliche Konzentrationen von 300 Sonnen bis 1500 Sonnen zu erreichen.

Abwandlungen von Energieempfängern für den linearen Sammler 20 sind in den Figuren 4 bis 7 dargestellt. Wie Fig. 4 zeigt, hat ein glattes, rundes Rohr 24' einen Durchlaß 28', durch den das Wärmeaustauschmedium geführt wird. Um das Rohr 24' im Abstand von dem runden Boden 40' zu halten, ist ein Distanzelement 30' vorgesehen.

Die obere Fläche des Rohres 24' verläuft im wesentlichen fluchtend mit dem Brennbereich 76 der Linse.

Eine weitere Abwandlung des Energieempfängers ist in Fig. 5 gezeigt. Bei diesem Energieempfänger ist ein Paar ebener oder gekrümmter Spiegel 201 und 202 unter einem Winkel im Abstand voneinander angeordnet, so daß die oberen Kanten der Spiegel

201, 202 fluchtend in der horizontalen Ebene des Brennbereiches 76 der Linse liegen. Die Spiegel 201 und 202 bilden einen Kanal 203, der sich in Längsrichtung entlang dem Sammler 20 erstreckt, so daß das Licht von den Spiegeln nach unten in eine schmale, im Querschnitt kreisförmige Nut 204 am Boden des Sammlers 20 reflektiert wird. Ein auf Distanzstücken 230 gelagertes, sehr kleines Metallrohr 224 ist in der länglichen Nut 204 ausgerichtet, so daß das Licht auf seine Oberfläche reflektiert wird, um das durch seinen Durchlaß 280 hindurchströmende Wärmeaustauschmedium zu erhitzen.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel für einen Wärmeaustauscher zeigt Fig. 6, und dieser Wärmeaustauscher benötigt im allgemeinen keine Isolierung. Der Energieempfänger besteht aus einem Rohr 324 mit einem Durchlaß 328, das im Abstand von der Innenwand eines transparenten Rohres 330 aus Glas, Acryl o.ä. gehalten ist, so daß ein Ringraum 332 gebildet wird. Das Rohr 324 befindet sich im Abstand von der Linse entlang zu deren Achse, so daß die Lichtstrahlen 86 in den Bereich 76 auf der Oberfläche des Rohres 324 fokussiert werden. Gegebenenfalls kann im Ringraum 332 ein Vakuum erzeugt werden, um die Wärmeverluste aus dem Rohr 324 zu verringern und den Wirkungsgrad des Sammlers zu verbessern.

Das in Fig. 7 gezeigte Ausführungsbeispiel enthält ein Fotoelement 424, das sich in Längsrichtung entlang des Brennbeereiches 76 der Linse erstreckt, so daß das Licht konzentriert auf das Fotoelement 424 fällt. Dieses Fotoelement 424 ist auf einem metallischen Wärmeaustauscher 430 befestigt, der Durchlässe 432 hat, durch die ein Kühlmedium fließen kann, um die Fotozelle 424 gegen Überhitzung zu schützen und ein erhitztes Fluid zu liefern. Es sind unterschiedliche Arten derartiger Fotoelemente bekannt. Im allgemeinen besteht das Fotoelement aus einem Halbleitermaterial, etwa aus Kadmiumsulfidzellen oder Siliciumzellen. Derartige Fotoelemente erzeugen Elektrizität direkt aus dem konzentrierten Sonnenlicht, und diese Elektrizität kann zum Antrieb üblicher Vorrichtungen benutzt werden. Da Fotoelemente dieser Art zur Zeit teuer sind, stellt ihr Einsatz innerhalb des erfindungsgemäßen Sammlers einen wirtschaftlichen Vorteil dar, weil bei sehr großer Linsenöffnung nur kleine Abmessungen der Fotoelemente erforderlich sind.

su:kö

809825/1045

. 50.
Leerseite

Nummer: 27 57 155
 Int. Cl. 2: G 02 B 3/08
 Anmeldetag: 19. Dezember 1977
 Offenlegungstag: 22. Juni 1978

FIG. 1

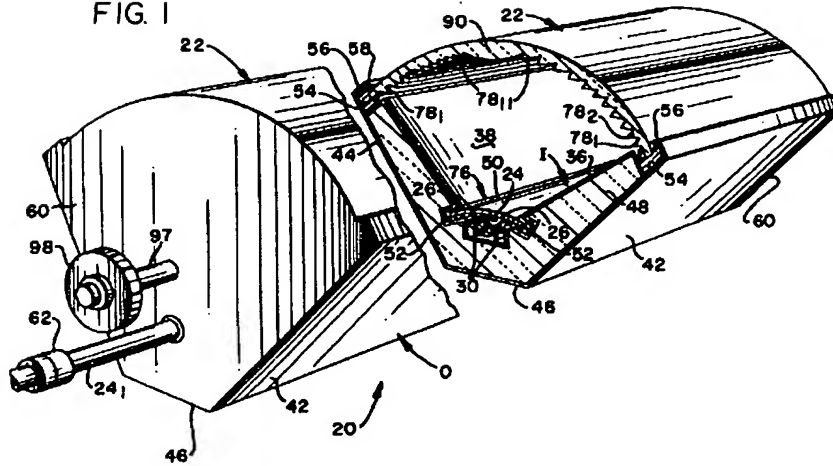


FIG. 2

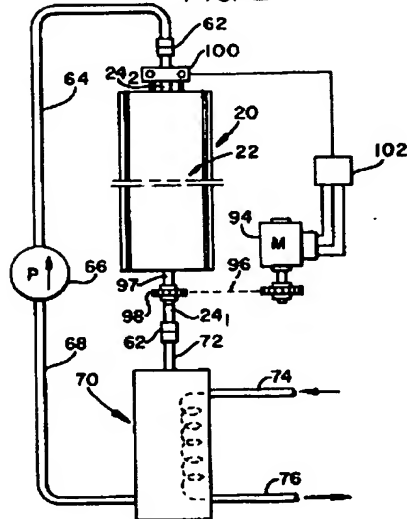


FIG. 3

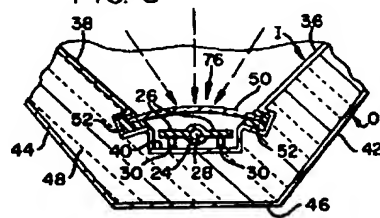
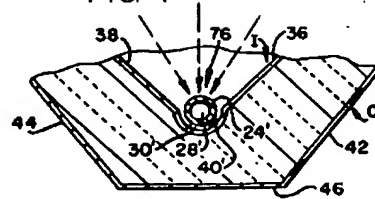
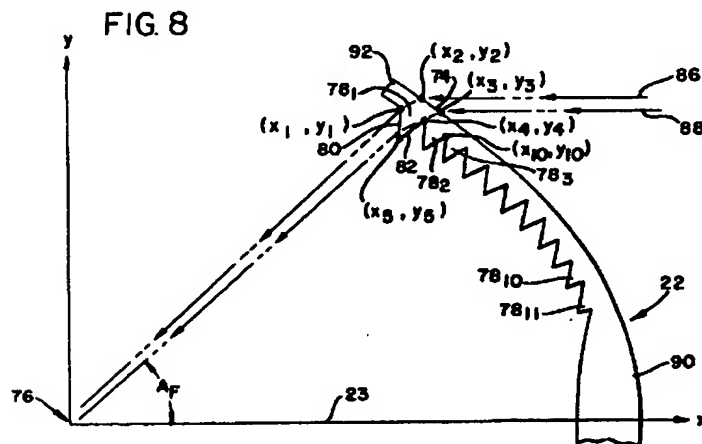
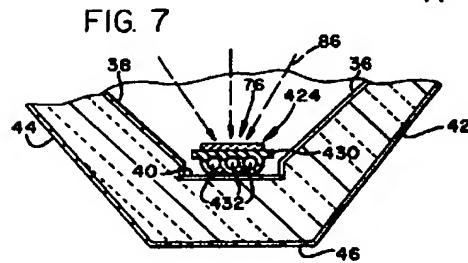
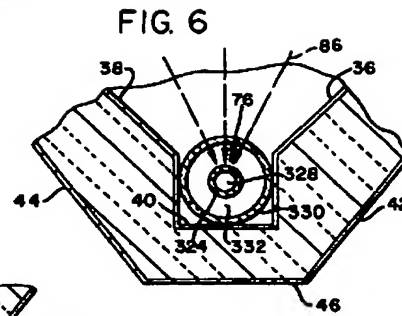
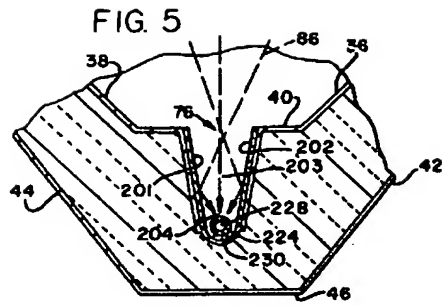


FIG. 4





809825/1045

